

Wpływ wód przypadkowych na funkcjonowanie przepompowni ścieków w kanalizacji sanitarnej

Impact of incidental waters on the operation of pumping stations in the sanitary sewerage system

GRZEGORZ KACZOR, TOMASZ BERGEL, KAZIMIERZ KUDLIK

DOI 10.36119/15.2022.7-8.6

W ramach badań, obejmujących 7-miesięczny okres obserwacji, prowadzonych podczas pogody bezdeszczowej oraz mokrej, poddano analizie funkcjonowanie trzech przepompowni ścieków, działających w wybranej sieci grawitacyjnej kanalizacji rozdzielczej, zlokalizowanej w południowej części województwa małopolskiego. Celem badań było przeanalizowanie obciążenia hydraulicznego przepompowni ścieków wodami przypadkowymi. Analizą objęto parametry charakteryzujące działanie przepompowni, takie jak: objętość przetoczonych wód przypadkowych, liczbę uruchomień pomp, czas ich pracy, zużycie energii i związany z tym ślad węglowy. W całym okresie badań, do przepompowni P_1 dopłynęło łącznie 205 m^3 wód przypadkowych, do przepompowni P_2 – $187,8 \text{ m}^3$, a do przepompowni P_3 – $99,8 \text{ m}^3$ tych wód. Udział wód przypadkowych w dopływie do wszystkich analizowanych przepompowni był niemal identyczny i stanowił ok. 25%. Wody przypadkowe powodowały istotne podwyższenie liczby włączeń pomp w analizowanych przepompowniach. Miesięcznie było to od 32 do 95 włączeń więcej. W zależności od przepompowni, miesięczny czas pracy pomp, ze względu na tłoczenie wód przypadkowych, uległ wydłużeniu od 0,6 do 1,1 godziny. Przeprowadzone badania wykazały, że do środowiska może trafiać rocznie od 4,8 do $10,8 \text{ kg CO}_2$ więcej, ze względu na energię zużywaną na pompowanie wód przypadkowych wymieszanych ze ściekami.

Słowa kluczowe: system kanalizacyjny, ścieki, przepompownia, wody przypadkowe

The study, which included a 7-month period of observation during dry and wet weather, analysed the operation of three wastewater pumping stations working in a selected gravity sewer network located in the southern part of the Małopolskie Province.

The aim of the study was to analyse the hydraulic loads on wastewater pumping stations with incidental waters. The study analysed parameters characterising the operation of the pumping station, such as the volume of pumped incidental waters, the number of pump starts, their operating time, energy consumption and the resulting carbon footprint.

During the entire study period, a total of 205 m^3 of incidental waters flowed into the P_1 pumping station, 187.8 m^3 into the P_2 pumping station, and 99.8 m^3 of these waters into the P_3 pumping station. The share of incidental waters in the inflow to all analysed pumping stations was almost identical and accounted for about 25%. The incidental waters caused a significant increase in the number of pumps started at the analysed pumping stations. This was between 32 and 95 more switches per month. Depending on the pumping station, the monthly operating time of the pumps, due to the pumping of incidental waters, has increased from 0.6 to 1.1 hours. Research has shown that between 4.8 and 10.8 kg CO_2 may be released into the environment each year due to the energy used to pump incidental waters mixed with the wastewater.

Keywords: sanitary sewerage system, wastewater, pumping stations, incidental waters

Wprowadzenie

Jednym z istotnych czynników, utrudniających eksploatację systemów kanalizacyjnych, są okresowe dopływy do kolektorów ściekowych wód przypadkowych [1–6]. Głównym źródłem wód przypadko-

wych w kanalizacji rozdzielczej są najczęściej opady atmosferyczne lub wody roztopowe [7, 8], przedostające się do kanałów sanitarnych poprzez nielegalne włączenia wylotów rynien dachowych [1, 9] lub w wyniku nieszczelności włazów kanalizacyjnych [10, 11]. Badania wykonane

w Niemczech w latach 90. ubiegłego wieku wykazały, że w ekstremalnych przypadkach wody obce mogą stanowić blisko 80% dopływu do oczyszczalni [12]. Wody przypadkowe wywierają negatywny wpływ na działanie sieci kanalizacyjnej, skutkujący przeciążeniem hydraulicznym

dr hab. inż. Grzegorz Kaczor prof. URK, <https://orcid.org/0000-0002-0858-1028>, email: grzegorz.kaczor@urk.edu.pl,

dr hab. inż. Tomasz Bergel, prof. URK <https://orcid.org/0000-0003-0475-112X> – Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Kraków, email: tomasz.bergel@urk.edu.pl

mgr inż. Kazimierz Kudlik – Kierownik Działu Badań i Rozwoju Sąddeckie Wodociągi Sp. z o.o., Nowy Sącz, email: kazimierz.kudlik@swns.pl

kanatów i przepompowni, cofkami w przyłączach kanalizacyjnych oraz przepętnieniem lub wylewami ścieków ze studzienek rewizyjnych. W odniesieniu do oczyszczalni ścieków, wody przypadkowe powodują [13–17]: przeciążenia hydrauliczne poszczególnych obiektów technologicznych, rozcieńczenie ścieków surowych, a więc zubożenie ich w substancje niezbędne w procesie oczyszczania biologicznego, obniżenie temperatury ścieków w okresie roztopów, która ma istotny wpływ w procesach oczyszczania biologicznego, nadmierny wzrost prędkości ścieków w piaskownikach i osadnikach w związku ze zwiększonym przepływem, wynoszenie osadu z osadników wtórnych, a także wzrost kosztów eksploatacyjnych na transport i napowietrzanie zwiększonej objętości mieszaniny ścieków i wód przypadkowych. Chcąc przeciwdziałać tym niekorzystnym zjawiskom, należy podjąć skuteczne działania umożliwiające wyeliminowanie lub przynajmniej ograniczenie dopływu wód przypadkowych do sieci kanalizacyjnej.

Ważnym działaniem, pozwalającym zorientować się w skali problemu, jest poprawne obliczenie ilości wód przypadkowych. Ogólną ich objętość można oszacować poprzez porównanie dobowych dopływów ścieków do danej oczyszczalni podczas pogody bezdeszczowej oraz w dniach z intensywnymi opadami deszczu. W literaturze opisanych jest wiele różnorodnych metod analitycznych, które można wykorzystać w tym celu [3, 6, 19, 20].

W pierwszej kolejności, w celu zdiagnozowania skali problemu, oblicza się objętość wód przypadkowych wyrażoną w m^3 , albo procentowy ich udział w dopływie dobowym lub rocznym do oczyszczalni. Drugim, znacznie trudniejszym etapem, jest wskazanie konkretnych odcinków kanalizacji, najbardziej narażonych na dopływy wód przypadkowych. Końcowym etapem jest rozpoznanie, a następnie wyeliminowanie wykrytych w terenie źródeł dopływu wód przypadkowych. We wspomnianym etapie drugim, najbardziej przydatne i pomocne są przenośne urządzenia pomiarowe, umożliwiające zmierzenie chwilowego przepływu ścieków w danym odcinku kanalizacji. Jednak samo ich posiadanie lub wypożyczenie nie rozwiązuje problemu, bowiem eksploatacja musi jeszcze wiedzieć, w którym kolektorze powinny one być zainstalowane.

Do badań wstępnych, związanych z obliczeniem objętości wód przypadkowych, można, zdaniem autorów niniejszej publikacji, wykorzystać funkcjonujące w danej sieci kanalizacyjnej przepompow-

nie ścieków. W ramach badań, prowadzonych w 7-miesięcznym okresie obserwacji, przeanalizowano funkcjonowanie trzech wybranych przepompowni ścieków, działających w wybranej sieci kanalizacji rozdzielczej. Celem badań było przeanalizowanie obciążenia hydraulicznego tych obiektów wodami przypadkowymi. W badaniach przeanalizowano parametry charakteryzujące działanie przepompowni, takie jak: liczbę uruchomień pomp, czas pracy pomp, zużycie energii i związany z tym ślad węglowy.

Opis obiektów badań

Obiektem badań były trzy przepompownie ścieków bytowych, funkcjonujące w wybranej zbiorczej sieci grawitacyjnej kanalizacji rozdzielczej, zlokalizowane w południowej części województwa małopolskiego. Zlewnia kanalizacyjna charakteryzuje się typowymi dla obszarów podgórskich dużymi deniwelacjami terenu.

Zabudowa mieszkalna skoncentrowana jest na zboczach i obszarach dolin, wzdłuż cieków wodnych. W obrębie zboczy grunt stanowią zwietrzliny i rumosze gliniaste piaszczysto-łupkowe, przykryte warstwą glin piaszczystych, bądź glin z okruskami rumoszu. W obszarze dolin potoków występują otoczaki i żwir przykryte warstwą mad gliniastych. Woda gruntowa horyzontu czwartorzędowego, występuje na głębokości od 1,0 do 1,4 m ppt.

Sieć kanalizacyjna została wybudowana w 2012 r. z rur PCV o średnicy DN 160 i DN 200.

Charakterystyczne parametry badanych przepompowni ścieków przedstawiono w tabeli 1, natomiast charakterystykę podsieci kanalizacyjnych, z których ścieki odprowadzane były do badanych przepompowni, przedstawiono w tabeli 2. W każdej przepompowni zainstalowane były dwie identyczne pompy, włączające się naprzemiennie.

Tabela 1. Charakterystyczne parametry badanych przepompowni ścieków
Table 1. Characteristic parameters of the analysed wastewater pumping stations

Symbol przepompowni	Średnica zbiornika [m]	Wysokość retencyjna [m]	Pojemność czynna [m^3]	Rodzaj pomp	Moc silnika [kW]	Maksymalna wydajność pomp [$dm^3 \cdot s^{-1}$]
P ₁	1,20	0,45	0,50865	WP02A.211.50 Instal Compact	1,10	7,20
P ₂		0,25	0,28260			
P ₃		0,40	0,45216			

Tabela 2. Charakterystyka podsieci kanalizacyjnych
Table 2. Characteristics of sewerage subnetworks

Przepompownia	Łączna długość sieci [m]	Kanały DN 160 [m]	Kanały DN 200 [m]	Liczba przyłączy [szt.]	Liczba użytkowników [os.]
P ₁	2827	1296	1531	18	70
P ₂	922	414	508	8	38
P ₃	219	219	0	8	62

Metodyka badań

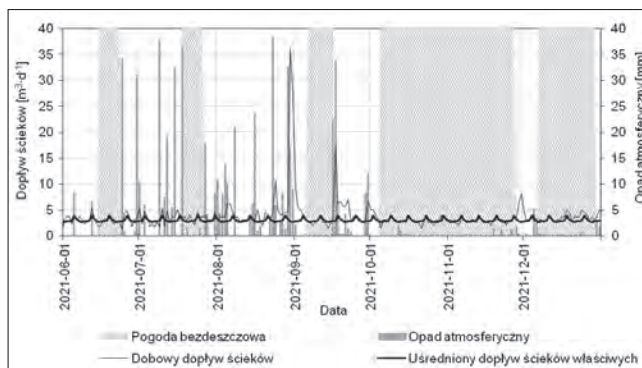
W badaniach wykorzystano liczbę włączeń pomp, zarejestrowanych w 7-miesięcznym okresie obserwacji, tj. od 01.06.2021 do 31.12.2021. Włączenia pomp były odczytywane zdalnie przez system monitoringu sieci kanalizacyjnej, informacje te przesyłane były komunikacją radiową, a następnie archiwizowane w stacji serwerowej z oprogramowaniem narzędziowym SCADA i-Fix v. 5.8 Historian. Wyeksportowane, z archiwalnej bazy SCADA dane, zapisano w arkuszach MS Excel.

W pracy wykorzystano także dane obejmujące dobowe wysokości opadów atmosferycznych ze stacji meteorologicznej odległej o 4 km od analizowanej sieci kanalizacyjnej.

W pierwszym etapie badań przeliczono dobową liczbę włączeń pomp (pozwalających na opróżnienie pojemności czynnej danej przepompowni) na dobową objętość ścieków podczas pogody bezdeszczowej. Uzyskane wartości porównano z danymi dotyczącymi zużycia wody. Porównane dane wykazały zgodność, wskazującą na brak dopływu do kanalizacji wód infiltracyjnych.

W kolejnym kroku zestawiono na jednym wykresie obliczone dobowe przepływy ścieków i dobowe wysokości opadów atmosferycznych. Pozwoliło to na wyznaczenie okresów pogody bezdeszczowej. Do pogody bezdeszczowej zaliczono daną dobę, jeżeli podczas jej trwania nie wystąpił opad atmosferyczny o wysokości większej niż 5 mm oraz dodatkowo, dobowe natężenie przepływu ścieków w kanalizacji powróciło do poziomu średniego po ostatnim opadzie. Analiza wstępna wykazała, że opady o wysokości nieprzekraczającej 5 mm nie wywoływały wzrostu objętości ścieków w analizowanej kanalizacji.

Przykładowy wykres dobowych dopływów ścieków do przepompowni P₁, na tle



Rys. 1. Dobowe dopływy ścieków do przepompowni P₁ na tle dobowej wysokości opadów atmosferycznych oraz wyznaczonych czasookresów pogody bezdeszczowej Fig. 1. Daily wastewater inflows to the P₁ pumping station on the background of daily precipitation and determined periods of dry weather

opadów atmosferycznych wraz wyznaczonymi okresami pogody bezdeszczowej, przedstawiono na rysunku 1.

W kolejnym kroku obliczono uśrednione dobowe dopływy ścieków do danej przepompowni, w poszczególnych dniach tygodnia podczas pogody bezdeszczowej (rys. 2). Na podstawie tygodniowego rozkładu uśrednionych dobowych dopływów ścieków do danej przepompowni wyznaczono przebieg linii odcięcia, odzwierciedlającej uśredniony dopływ do kanalizacji ścieków właściwych (bez wód przypadkowych). Przykładową linię odcięcia dla przepompowni P₁ opisaną, jako „Uśredniony dopływ ścieków właściwych” pokazano na rysunku 1. Linia odcięcia pozwala na oddzielenie wód przypadkowych od ścieków właściwych podczas opadów deszczu. Zatem, dobową objętość wód przypadkowych została obliczona, jako różnica pomiędzy dobowym dopływem ścieków do przepompowni i dopływem średnim dobowym obliczonym dla danego dnia tygodnia.

Podczas pogody bezdeszczowej, dopływy dobowe do przepompowni, wyższe od wartości odcięcia, nie były traktowane, jako wody przypadkowe. Uznano, że ewentualne dobowe wzrosty przepływu ścieków, wyższe od wartości przeciętnej, są w tych okresach kształtowane wyłącznie specyfiką działalności bytowej mieszkańców.

Na podstawie wzoru (1) obliczono udział wód przypadkowych w sumarycznym dopływie ścieków do każdej przepompowni [1].

$$UWP = \frac{Q_{dp}}{Q_d} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

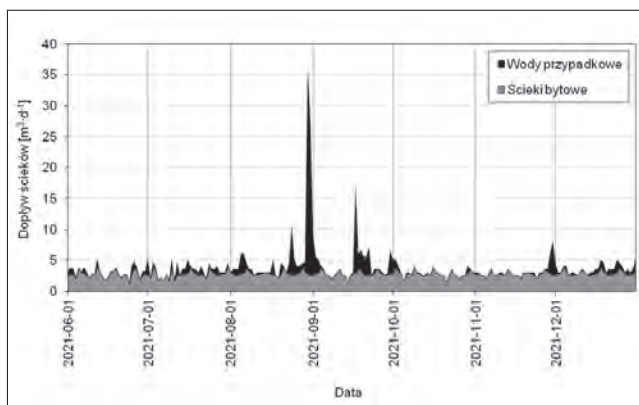
UWP – udział wód przypadkowych w łącznym dopływie wód do przepompowni w okresie badań [%],

Q_{dp} – łączny dopływ wód przypadkowych w okresie badań [m^3],

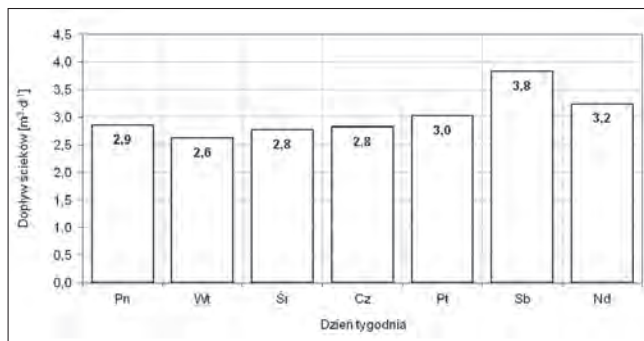
Q_d – łączny dopływ do przepompowni w okresie badań mieszaniny ścieków i wód przypadkowych [m^3].

Dysponując uśrednionymi dobowymi dopływami ścieków właściwych, w poszczególnych dniach tygodnia, czyli parametrami odchyleń dobowych linii odcięcia, obliczono nadliczbową liczbę włączeń pomp, wynikająca z dopływu do kanalizacji wód przypadkowych. Dysponując wydajnością pomp, obliczono średni czas opróżniania pojemności retencyjnej danej przepompowni podczas pojedynczego cyklu włączenia pompy. Na podstawie mocy silnika pomp oraz ich czasu pracy,

Rys. 3. Charakterystyka dopływu ścieków oraz wód przypadkowych do przepompowni P₁ Fig. 3. Characteristics of wastewater and incidental waters inflow to the P₁ pumping station



Rys. 2. Rozkład średnich dobowych dopływów ścieków do przepompowni P₁ w poszczególnych dniach tygodnia podczas pogody bezdeszczowej Fig. 2. Distribution of average daily wastewater inflows to the P₁ pumping station on individual days of the week during dry weather



obliczono zużycie energii elektrycznej na tłoczenie ścieków właściwych oraz na tłoczenie wód przypadkowych.

W obliczeniach końcowych obliczono „ślad węglowy”, jaki poszczególne przepompownie wprowadziły pośrednio do środowiska zużywając energię elektryczną na tłoczenie samych wód przypadkowych. W obliczeniach przyjęto wartość wskaźnika wynoszącą 719 g CO₂ na 1 kWh zużytej energii [21].

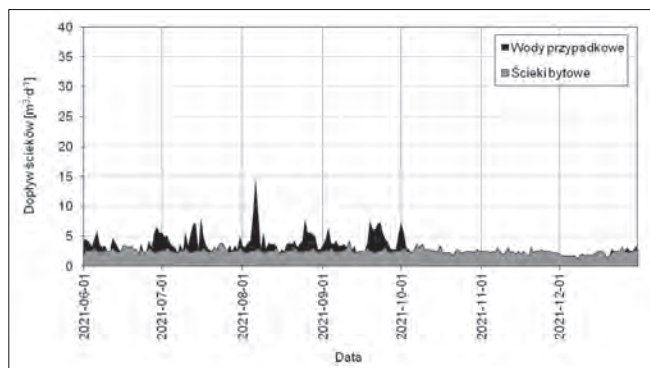
Wyniki badań i ich dyskusja

Dysponując linią odcięcia, wyznaczoną odrębnie dla każdej przepompowni, opracowano wykresy obrazujące charakter dopływu wód przypadkowych do każdej z trzech analizowanych przepompowni ścieków, w całym okresie badań (rys. 3 – 5).

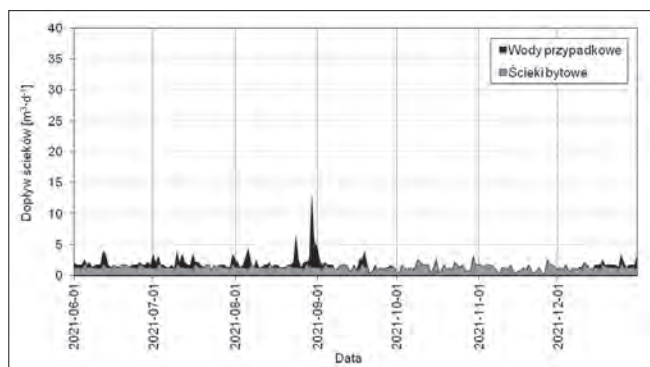
Analiza wyników obliczeń zamieszczonych na rysunkach wskazuje, że każda przepompownia była nieco inaczej obciążona wodami przypadkowymi. Jednak sama analiza wykresów, pomimo przyjęcia jednakowej skali osi, nie pozwala na wskazanie, który obiekt jest najbardziej narażony na dopływy wód przypadkowych. W przypadku przepompowni P₁ można jedynie zauważyć, że dopływy wód przypadkowych pojawiają się rzadziej, niż w pozostałych obiektach. Było to powiązane z opadami o wyższej wysokości dobowej.

W kolejnym etapie analizy obliczono parametry dopływu poszczególnych strumieni do każdej z przepompowni ścieków

w całym 7-miesięcznym okresie badań. Do przepompowni P₁ podczas badań dopłynęło łącznie 811 m³ wód, z czego 606 m³ ścieków i 205 m³ wód przypadkowych. Do drugiej analizowanej przepompowni (P₂) dopłynęło 734,5 m³ wód, w tym 546,6 m³ ścieków i 187,8 m³ wód przypadkowych. Do ostatniej badanej przepompowni (P₃) dopłynęło 295,3 m³ wód, w tym 195,5 m³ ścieków i 99,8 m³ wód przypadkowych. Na podstawie



Rys. 4.
Charakterystyka dopływu ścieków oraz wód przypadkowych do przepompowni P₂
Fig. 4. Characteristics of wastewater and incidental waters inflow to the P₂ pumping station



Rys. 5.
Charakterystyka dopływu ścieków oraz wód przypadkowych do przepompowni P₃
Fig. 5. Characteristics of wastewater and incidental waters inflow to the P₃ pumping station

wzoru (1) obliczono, że udział wód przypadkowych w dopływie do przepompowni P₁ stanowił 25,3%, przepompowni P₂ – 25,6%, a przepompowni P₃ – 25,2%. Można zatem stwierdzić, że w całym okresie badań, wody opadowe stanowiły dokładnie 1/4 łącznego dopływu wód do każdej przepompowni.

Obliczoną wartość udziału wód przypadkowych odniesiono do wyników badań innych Autorów. Kaczor w swojej rozprawie habilitacyjnej [6] analizował w okresie 5-letnim dobowe dopływy wód przypadkowych do 5 systemów kanalizacyjnych. W dwóch sieciach, o niskim dopływie wód przypadkowych, ich udział roczny wynosił od 9,4 do 26,8%. Jednak w 3 innych systemach wartość udziału WUP wahała się od 21,1 aż do 57,7%. Sieci kanalizacyjne połączone z analizowanymi przepompowniami P₁, P₂ i P₃, na podstawie tych badań, można uznać za średnio obciążone wodami przypadkowymi. Wyniki badań niemieckich [1, 12] wskazują, że w 50% badanych tam sieci kanalizacyjnych udział wód przypadkowych stanowił 24%. Badania Kaczora i Cupak [9], obejmujące 15-letni okres obserwacji, dotyczące dopływu wód przypadkowych do sieci kanalizacyjnej zlokalizowanej w Małopolsce, wykazały udział wód przypadkowych na poziomie od 8,4 do 35,9%. Pozostałe badania Kaczora [7, 8, 13, 15, 17] oraz innych autorów [2, 3, 5, 18] wskazują, że udział wód przypadkowych na poziomie 25% należy traktować, jako przeciętny dla sieci kanalizacyjnych o długości od 10 do 20 km,

Tabela 3. Charakterystyka miesięczna wpływu wód przypadkowych na wybrane parametry funkcjonowania analizowanych przepompowni ścieków

Table 3. Monthly characteristics of the impact of incidental waters on selected parameters of the analysed wastewater pumping stations

Parametr	Wartość parametru dla danej przepompowni		
	P ₁	P ₂	P ₃
Objętość wód przypadkowych [m ³]	29,3	26,8	14,3
Objętość wód przypadkowych na 1 km sieci [m ³ · km ⁻¹]	10,4	29,1	65,1
Objętość wód przypadkowych na 1 przyłączy [m ³ · przyłączy ⁻¹]	1,6	3,6	1,8
Udział wód przypadkowych w łącznym dopływie do przepompowni [%]	25,3	25,6	25,2
łączna liczba włączeń pomp w przepompowni / łączna liczba włączeń pomp podczas tłoczenia wód przypadkowych [-]	228 / 58	371 / 95	125 / 32
łączny miesięczny czas pracy pomp / łączny czas pracy pomp podczas tłoczenia wód przypadkowych [h]	4,5 / 1,1	4,0 / 1,0	2,2 / 0,6
Ilość energii zużytej na tłoczenie wód przypadkowych [kWh]	1,2	1,1	0,6
Ślad węglowy w środowisku w związku z tłoczeniem wód przypadkowych [kg CO ₂]	0,9	0,8	0,4

ale zarazem jako za wysoki w przypadku krótkich sieci, o długości do 2 km. Przeprowadzona dyskusja wyników wskazuje, że ustalony na podstawie badań udział wód przypadkowych, był znaczny w odniesieniu do długości sieci i wymaga podjęcia działań w celu wyeliminowania lub ograniczenia dopływu wód deszczowych do analizowanej kanalizacji sanitarnej.

W tabeli 3 zestawiono inne parametry, związane z wpływem wód przypadkowych na funkcjonowanie trzech badanych przepompowni. W celu prognozowania wartości tych parametrów dla całego roku, uśredniono je dla okresu 1-miesięcznego.

Obliczone w tabeli 3 parametry wskazują, że najwięcej wód przypadkowych, w przeliczeniu na 1 km sieci kanalizacyjnej, dopływało do przepompowni P₃. Wynika to ze znacznej miesięcznej objętości wód przy-

padkowych, w przeliczeniu na łączną długość sieci połączonej z tą przepompownią. Przyczyną tego stanu mogły być studnie kanalizacyjne usytuowane w zagłębieniach terenu lub ich nieszczelne wläzy. Źródłem wód przypadkowych mogły też być budynki odprowadzające wody opadowe bezpośrednio do kanalizacji sanitarnej. Najwięcej wód przypadkowych, w przeliczeniu na liczbę przyłączy, dopływało do przepompowni P₂. Objętość ta była dokładnie 2 razy większa niż w przepompowni P₃ i 2,3 razy większa niż w przepompowni P₁. Może to wskazywać na nieszczelność przewodów przyłączy kanalizacyjnych lub na wykonanie nielegalnych podłączeń do nich odpływu z rynien dachowych.

Pozostałe wyniki zestawione w tabeli 3 wskazują, że wody przypadkowe powodowały istotne podwyższenie liczby włączeń pomp w analizowanych przepompowniach. Miesięcznie było to od 32 do 95 włączeń więcej. W zależności od przepompowni, miesięczny czas pracy pomp ze względu na tłoczenie wód przypadkowych

uległ wydłużeniu od 0,6 do 1,1 godziny. W skali roku, daje to czas pracy pomp dłuższy o 7,2 do 13,2 h, co jednocześnie wpływa na zwiększenie zużycia energii elektrycznej przez pompy w zakresie od 7,2 do 14,4 kWh. Zużycie energii i wydłużenie czasu pracy pomp wpływa na szybsze ich zużycie oraz na wzrost łącznych kosztów eksploatacyjnych przepompowni. Należy także zauważyć, że zużycie energii na tłoczenie wód przypadkowych, generuje dodatkowy ślad węglowy w środowisku, wynoszący od 0,4 do 0,9 kg CO₂ miesięcznie oraz odpowiednio od 4,8 do 10,8 kg CO₂ rocznie.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że zarchiwizowane w systemie SCADA

parametry funkcjonowania przepompowni ścieków, można z powodzeniem wykorzystać do obliczenia objętości wód przypadkowych dopływających do sieci kanalizacyjnych połączonych z tymi przepompowniami.

Analiza obciążenia hydraulicznego poszczególnych przepompowni ścieków wodami przypadkowymi pozwala wskazać te fragmenty sieci, które są najbardziej narażone na dopływy tych wód. Zależy to do obszaru poszukiwań źródeł lub przyczyn dopływu wód przypadkowych do kanalizacji.

Analiza szczegółowych parametrów działania przepompowni ścieków pozwala na precyzyjne obliczenie wydłużonego czasu pracy pomp ze względu na konieczność tłoczenia wraz ze ściekami wód przypadkowych. Jest to ważny parametr charakteryzujący czas eksploatacji pomp. Badania wykazały, że wody przypadkowe dopływające do analizowanych sieci kanalizacyjnych, powodowały wydłużenie czasu pracy pomp od 24 do 27%.

Nadliczbowa praca pomp, związana z tłoczeniem wód przypadkowych, wpływa na zwiększone zużycie energii, składające się także na istotny ślad węglowy w środowisku. Przeprowadzone badania wykazały, że w przypadku nawet krótkich sieci kanalizacyjnych, do środowiska może trafiać rocznie od 4,8 do 10,8 kg CO₂ więcej, ze względu na energię zużywaną na pompowanie wód przypadkowych wymieszanych ze ściekami.

Wszystkie poddane analizie czynniki eksploatacyjne oraz środowiskowe wskazują na nieustanną potrzebę podejmowania wielokierunkowych działań w celu eliminacji lub przynajmniej ograniczania dopływu wód obcych, czyli ścieków pozornych, do sieci kanalizacyjnych.

LITERATURA:

- [1] R. Pecher, „Wody przypadkowe w kanalizacji – Problem gospodarki wodnej”, *Gaz, Woda Technika Sanitarna*, Nr 12, s. 1–6, 1999.
- [2] G. Weiss, H. Brombach, B. Haller, „Infiltration and inflow in combined sewer systems: long – term analysis”, *Water Science & Technology*, vol. 45 (7), s. 227–230, 2002.
- [3] J. B. Ellis, J. Bertrand-Krajewski, „Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems”, IWA Publishing, UK, London, pp. 200, 2010.
- [4] G. Hey, K. Jönsson, A. Mattsson, „The impact of infiltration and inflow on wastewater treatment plants”, A case study in Sweden, Report No. 06, VA-technik, 31, 2016.
- [5] O. Cieślak, J. Pawelek, „Dopływ wód obcych do kanalizacji sanitarnej na przykładzie gminy Mezos w Francji”, *Instal*, nr 7–8, 2014.
- [6] G. Kaczor, „Wpływ wód infiltracyjnych i przypadkowych na funkcjonowanie małych systemów kanalizacyjnych”, *Rozprawa habilitacyjna*, nr 372, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, nr 495, 2012.
- [7] G. Kaczor, „Wpływ wiosennych roztopów śniegu na dopływ wód przypadkowych do oczyszczalni ścieków bytowych”, *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumietus*, 10 (2), Wydawnictwo UR w Krakowie, s. 27–34, 2011.
- [8] G. Kaczor, K. Chmielowski, P. Bugajski, „Wpływ sumy rocznej opadów atmosferycznych na objętość wód przypadkowych dopływających do kanalizacji sanitarnej”, *Rocznik Ochrona Środowiska*, tom 19, s. 668–681, 2017.
- [9] G. Kaczor, A. Cupak, „Analysis of the Proportion of Incidental Water in Annual wastewater Inflows to a Selected Treatment Plant During a 15-year Observation Period”, *Journal of Ecological Engineering*, 22(7), 204–211, 2021. <https://doi.org/10.12911/22998993/138998>
- [10] G. Kaczor, „Otwory we włączach studzienek kanalizacyjnych jako jedna z przyczyn przedostawania się wód przypadkowych do sieci rozdzielczej”, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 9, s. 155–163, 2009.
- [11] B. Bogusławski, P. Sobczak, A. Głowacka, „Badanie dopływu wód przypadkowych do kanalizacji sanitarnej przez włącz studzienki kanalizacyjnej”, *Instal*, nr 5, 2021. DOI 10.36119/15.2021.5.5
- [12] A. Michalska, K. H. Pecher, „Betriebliche und kostenmäßige Auswirkung des Fremdwassers auf Kanalisation und Kläranlage”, *Gewässer-schutz – Wasser – Abwasser*, 177, s. 1–27, 2000.
- [13] G. Kaczor, T. Bergel, „Wpływ wód przypadkowych na ładunki zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni i odprowadzanych do odbiornika”, *Przemysł Chemiczny*, Sigma-Not, 87(5), s. 476–478, 2009.
- [14] A. Walega, G. Kaczor, „Wstępne badania nad wpływem wód przypadkowych na aktywność osadu czynnego oraz podatność ścieków na biodegradację”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 2'2012, Wydawnictwo Sigma NOT, Warszawa, s. 100–102, 2012.
- [15] G. Kaczor, P. Bugajski, „Wpływ wód przypadkowych na jakość ścieków oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika podczas pogody mokrej”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 8'2012, Wydawnictwo Sigma NOT, Warszawa, s. 334–337, 2012.
- [16] G. Kaczor, „Oddziaływanie wód przypadkowych na stężenia związków biogenych w ściekach surowych i oczyszczonych podczas pogody mokrej”, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 3/4/2012, PAN Oddział w Krakowie, s. 179–191, 2012.
- [17] G. Kaczor, K. Chmielowski, P. Bugajski, „Influence of extraneous waters on the quality and loads of pollutants in wastewater discharged into the treatment plant”, *Journal Of Water And Land Development*. Volume 33, Issue 1. 73–78, 2017. DOI: 10.1515/jwld-2017-0021.
- [18] T. Bergel, G. Kaczor, K. Kudlik, „Analiza przyczyn nieuzasadnionego wzrostu natężenia przepływu ścieków w gminnej sieci kanalizacji sanitarnej”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 4, Wydawnictwo Sigma NOT, Warszawa, s. 181–184, 2017. DOI: 10.15199/17.2017.4.18
- [19] G. Kaczor, P. Bugajski, T. Bergel, „Zastosowanie metody trójkąta do obliczenia objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych w kanalizacji sanitarnej”, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 3/4/2013, PAN Oddział w Krakowie, Kraków, s. 263–274, 2013.
- [20] G. Kaczor, P. Bugajski, „Zastosowanie metody ruchomego minimum do obliczenia objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych w kanalizacji sanitarnej”, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 2/1/2012, PAN Oddział w Krakowie, s. 163–172, 2012.
- [21] „Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej”, *Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami*, IOŚ-PIB, 2020.

